

# حصاد حطب الوقود في النيجر وتعميم صيغة فاوتمان

C. R. Biol. 328 (2005) 379 – 385

<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01386828>

Nicolas Bacaër

Institut de recherche pour le développement

32 شارع هنري فارانيا ، 93143 بوندي ، فرنسا

nicolas.bacaer@ird.fr

Alassane Bah

جامعة الشيخ أنتا ديوب داکار ، المدرسة العليا للفنون التطبيقية

DGI-SMA ، BP 15915 ، السنغال

Ali Mahamane

جامعة عبده موموني نيامي

كلية العلوم ، قسم الأحياء ، BP 10662 نيامي ، النيجر

## ملخص

في بعض الغابات في النيجر ، حيث تم إنشاء "أسواق ريفية خاضعة للرقابة" ، يتم حصاد حطب الوقود وفقاً لسياسة من النوع التالي: كل سنة  $T$  ، تقطع الأشجار الميتة والأشجار الحية التي يزيد قطرها عن  $D$  . تشكل الأشجار الميتة الجزء الأكبر من المحصول. في هذه المقالة ، نقدم نموذجاً بسيطاً مستمراً لإدارة الحصاد بطريقة مستدامة. يُباع غير المتساوية التي تخضع لمعدل وفيات مرتفع ، ونحصل على صيغة للدورة وقطر القطع الذي يعمل على تحسين الدخل المحدث ، مع أفق لانهاية. تفي تركيبة Faustmann الكلاسيكية للمؤامرات العمرية بالحد الأقصى  $0 \rightarrow \alpha$  و  $D = 0$  (قطع واضح).

الكلمات الرئيسية: الحراجة ، الغابات غير المتكافئة ، النمذجة ، التحسين ، حطب الوقود ، النيجر

## 1 المقدمة

في النيجر ، لا يزال الخشب أهم مصدر للطاقة لطهي الطعام. بسبب الجفاف وتزايد سكان المناطق الحضرية والوصول غير المنضبط جزئياً إلى المورد ، فإن الضغط على الغابات حول مدن مثل نيامي مرتفع. منذ عام 1989 ، أدت استراتيجية حكومية جديدة إلى حماية مناطق حرجية معينة ، حيث تتم إدارة الحصاد بطريقة مستدامة. يُباع الحصاد حصرياً في الأسواق المجاورة بتفويض إداري. يشجع نظام الضرائب التفاضلية التجار على شراء حطب الوقود من هذه الهياكل بدلاً من تنظيم الحصاد غير المنضبط للغابات [1].

تم اختيار نظامين للإدارة. في "الأسواق الريفية الموجهة" ، يتم حصاد الأشجار الميتة فقط. في "الأسواق الريفية الخاضعة للسيطرة" ، يتم أيضاً قطع بعض الأشجار الحية ويتم تنظيم القطع في دورات للسماح بالتناوب المكاني. في بعض الأحيان يتم تعيين حد أدنى لقطع قطر الأشجار الحية. يمكن أن تستغرق الشجرة عدة دورات للوصول إلى هذا القطر ، بحيث تشكل الأشجار الميتة غالبية كل محصول. عادة ما يتم تحديد طول الدورة بين 5 و 10 سنوات.

لذلك فإن سياسة الحصاد في هذه الأسواق الريفية الخاضعة للرقابة تشبه إلى حد كبير القطع الانتقائي الذي يمارس على قطع الأرض غير المستوية في أجزاء أخرى من العالم. لكن أهمية الأشجار الميتة أقل شياً بسبب وجهتها (الخشب الميت أفضل من الخشب الأخضر لطهي الطعام) ، وغياب التحول وتوافره (المناخ الساحلي بسبب ارتفاع معدل وفيات الأشجار).

على الرغم من الأدبيات الوفيرة التي تتعامل مع التمديدات المختلفة للصيغة الكلاسيكية لـ Faustmann [2،3] لمشكلة الدوران الأمثل [4] و 300 مقالة مدرجة في [5] ، لم يتم وضع أي صيغة بسيطة تم اقتراحه لدورة القطع المثلى والقطر الأمثل لقطع الأرض غير المتساوية المعرضة لارتفاع معدل الوفيات ، حيث تشكل الأشجار الميتة الجزء الأكبر من الحصاد لاستخدامه كخشب وقود. في [6] ، يتم الحصول على صيغة صريحة ولكن بالنسبة للغابات المتساوية العمر المعرضة لانخفاض معدل الوفيات الكارثي مثل النار. استخدم النموذج متغيراً زمنياً مستمراً ، وتم الحصول على الصيغة باستخدام نظرية عمليات تجديد المكافأة. يجب التأكيد على أنه مع ارتفاع معدل الوفيات الطبيعية ، تموت الأشجار الفردية من وقت لآخر ، وقد يكون هناك تأخير قبل قطعها خلال موسم الحصاد المخطط له. على العكس من ذلك ، مع الوفيات الكارثية بسبب الحرائق ، تتأثر الغابة بأكملها على الفور تقريباً وتتم إزالة الأشجار بعد فترة وجيزة. في الحالة الأولى ، يمكن الحفاظ على دوران مكاني بسيط ، في حين أنه من المستحيل في الحالة الثانية ، كما هو مبين [6].

يجد المرء في [7] صيغة تعمم معادلة فاوستمان للمؤامرات غير المستوية ، لكن النموذج تركز على الجانب الاقتصادي دون مراعاة نموذج معين للنمو البيولوجي. تم استخدام هذه الصيغة في [8] بالاشتراك مع نموذج مصفوفة زمنية منفصلة مشابه لـ [9،10] للنمو ؛ ولكن لم يتم العثور على صيغة بسيطة لدورة القطع المثلى ، لذلك كانت النتائج تستند فقط إلى المحاكاة. تصر عدة مقالات ، مثل [11،12] ، على أن نموذج فاوستمان والعديد من تعميماته هي أمثلة خاصة لعمليات اتخاذ القرار ماركوف ، والتي يمكن استخدام تقنيات البرمجة الديناميكية. تم تركز على الخوارزميات العددية أكثر من التركيز على الصيغ الصريحة. في جميع هذه المراجع ، يتم إنباء القليل من الاهتمام للوفيات الطبيعية لأنه في سياق أوروبا أو أمريكا الشمالية ، فإنه لا يكاد يذكر نسبياً مقارنة بعدة عوامل أخرى.

وبالتالي ، فإن الهدف من هذه المقالة هو العثور ، في إطار نموذج مؤامرة بسيط غير متساو عرضة لمعدلات وفيات عالية ، على صيغة واضحة طوال مدة الدورة المثلى وقطر القطع الأمثل. معيار التحسين هو نفسه كما هو الحال في نموذج Faustmann ، أي الدخل المخصص عبر أفق لانهاية. الاهتمام نظرياً بشكل أساسي لأنه من الواضح ، على الرغم من [13] ، أن الكثير من العمل الميداني لا يزال ضرورياً قبل الحصول على بيانات كافية لمعايرة النموذج في غابات النيجر. ومع ذلك ، مع تنظيم المزيد والمزيد من الأسواق الريفية الخاضعة للرقابة في النيجر وفي جميع أنحاء منطقة الساحل ، سيتاح المزيد من البيانات ويمكن أن يتحول الاهتمام من كيفية إدارة الغابات إلى كيفية تحسين الإدارة.

الموضوع منظم كالآتي. في القسم 2 ، نقدم تدوينات النموذج. في القسم 3 ، نحصل على صيغة لدورة القطع المثلى والقطر الأمثل ، ثم نناقشها باستخدام تعبير رياضي بسيط لمنحنى نمو الشجرة. في القسم 4 ، نوضح أن صيغة Faustmann الكلاسيكية تتوافق مع حد الوفيات التي لا تذكر ( $0 \rightarrow \alpha$ ) وقطر القطع  $D = 0$  (قطع واضح).

نظهر أيضًا أن صيغة متوسط غلة قطع الأرض المتساوية المعرضة لمعدلات وفاة منخفضة ولكن كارثية مثل الحرائق ، الواردة في [6] ، تتوافق مع حد دورة القطع  $T \rightarrow 0$  بسعر مخفض  $\beta \rightarrow 0$ . نقدم أيضًا امتدادات أخرى للصيغة: إلى معدل وفيات يعتمد على العمر وإختلاف محتمل في السعر بين الخشب الميت والخشب الأخضر المقطوع حديثًا. يمكن استخدامها في سياقات أخرى.

## 2. نموذج بسيط

ومن المفترض :

- مؤامرة لديها عدد ثابت  $N$  من الأماكن لتنمو الأشجار.  $N$  رقم كبير.
- $V(x)$  هو حجم شجرة العمر  $x$ ،  $V(0) = 0$
- السعر  $P$  لكل وحدة حجم خشب ثابت
- $c$  هي تكلفة التحضير لنمو شجرة جديدة
- $c'$  هي تكلفة ثابتة لكل حصاد
- $\alpha$  هي موت الأشجار: خلال فترة زمنية صغيرة  $dt$ ، هي النسبة المئوية للأشجار التي تموت (إذا كنت تعتقد أن النموذج حتمية) ، أو احتمال موت الشجرة (إذا كنت تعتقد أن النموذج هو مؤشر عشوائي). في الوقت الحالي ، من المفترض أن تكون  $\alpha$  مستقلة عن العمر ، ولكن سيتم التخلي عن هذه الفرضية في القسم 4.
- مدة دورة القطع هي  $T$
- ويتكون الحصاد كل  $T$  سنة من جميع الأشجار الميتة وجميع الأشجار الحية التي يزيد قطرها عن  $D$
- $X$  هو عصر عندما تصل الأشجار قطر  $D$ .

من المفترض أن التجديد مصطنعة بحتة: يتم استبدال الأشجار المقطوعة بدون تأخير بأشجار جديدة من سن 0 ، بحيث يبقى العدد الإجمالي للأشجار ثابتًا. من المفترض أن التجديد الطبيعي لا يكاد يذكر أثناء الدوران. أخيرًا ، لنكن عامل خصم بحيث يتم ترجيح الدخل في الوقت  $t = nT$  بمعامل  $e^{-\beta nT}$  في معيار التحسين. تكمن المشكلة في اختيار  $T$  و  $X$  لتحسين توقعات الدخل المخفض على جميع المحاصيل المستقبلية.

رسميًا،

- $p(x, t)$  هو توقع الكثافة السكانية للأشجار الحية في عمر  $s$  في الوقت  $t$  ،
- $q(x, t)$  هو توقع الكثافة السكانية للأشجار الميتة  $x$  في الوقت  $t$  (عندما تموت ، تتوقف الأشجار عن الشيخوخة) ،
- $K_n$  هو توقع الدخل من الحصاد إلى الوقت  $t = nT$ .

يمكن صياغة المشكلة كنظام من المعادلات التفاضلية الجزئية مع التحكم الاندفاعي. دعونا نتذكر أن هذه المعادلات التفاضلية الجزئية هي ببساطة المكافئ في الوقت المستمر لنماذج المصفوفة في وقت منفصل منظم حسب العمر. هذا النهج هو على سبيل المثال نهج [15،16] ، حيث يكون الحصاد مستمرًا وليس دوريًا. بين الحصاد (  $(n+1)T > t > nT$  ) ، تحقق الوظائف

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \alpha p(x, t) = 0, \quad \frac{\partial q}{\partial t} = \alpha p(x, t),$$

و  $p(0, t) = 0$  و  $nT^-$  على التوالي تشير إلى "قبل  $t = nT$ " و "مباشرة بعد  $t = nT$ ". لدينا بعد ذلك

$$p(x, nT^+) = \left[ \int_0^\infty q(\xi, nT^-) d\xi + \int_X^\infty p(\xi, nT^-) d\xi \right] \delta_{x=0} + p(x, nT^-) 1_{x \in ]0, X[}$$

و  $q(x, nT^+) = 0$  ، هنا،  $\delta_{x=0}$  يدل على كتلة ديراك في  $x = 0$  ، في حين أن  $1_{x \in ]0, X[}$  يدل على الوظيفة المميزة للفواصل الزمني  $]0, X[$ . توقع الدخل عند  $t = nT$  هو

$$K_n = \int_0^\infty q(x, nT^-) [PV(x) - c] dx + \int_X^\infty p(x, nT^-) [PV(x) - c] dx - c'.$$

الهدف هو تعظيم ، فيما يتعلق  $T$  و  $X$  ، توقع الدخل المخصوم على جميع المحاصيل المستقبلية

$$\sum_{n=1}^{\infty} e^{-\beta nT} K_n.$$

وظائف  $p(x, t)$  و  $q(x, t)$  تحقق أيضا من الشروط الأولية مع

$$\int_0^\infty [p(x, 0) + q(x, 0)] dx = N.$$

هذا النموذج يعادل نموذج Faustmann الكلاسيكي لمشكلة الدوران الأمثل إذا  $\alpha = 0$  و  $X = 0$ .

## 3. دورة القطع والقطر الأمثل

بغض النظر عن البنية العمرية للحالة الأولية ، الكثافات  $p(x, t)$  و  $q(x, t)$  تتلاقى إذا  $t \rightarrow +\infty$  نحو حلول دورية  $\hat{p}(x, t)$  و  $\hat{q}(x, t)$

$$\hat{p}(x, nT^-) = N \frac{1 - e^{-\alpha T}}{1 - e^{-i\alpha T}} \sum_{k=1}^i e^{-k\alpha T} \delta_{x=kT}$$

$$\hat{q}(x, nT^-) = N \frac{1 - e^{-\alpha T}}{1 - e^{-i\alpha T}} \alpha e^{-\alpha x} 1_{x \in (0, iT)}$$

$$\hat{p}(x, nT^+) = N \frac{1 - e^{-\alpha T}}{1 - e^{-i\alpha T}} \sum_{k=0}^{i-1} e^{-k\alpha T} \delta_{x=kT}$$

و  $\hat{q}(x, nT^+) = 0$  و  $i = [X/T] + 1$  (و  $[X/T]$  هو الجزء الكامل من  $X/T$ ). لاحظ أنه إذا  $X < T$  (بحيث  $i = 1$ ) ، جميع الأشجار الحية التي تصل  $t = nT^-$  هي نفس العمر (حتى المؤامرة) ويتم حصادها عند  $t = nT$  في نفس الوقت مثل الأشجار الميتة (قطع واضح). على العكس من ذلك ، إذا  $X > T$  (بحيث  $i \geq 2$ ) ، الأشجار الحية التي تصل  $t = nT^-$  بالنسبة للأعمار  $iT, 2T, \dots, T$  ، (المؤامرة غير المستوية) ويتم حصاد فقط من تتراوح أعمارهم من  $iT$  عند  $t = nT$  بالأشجار الميتة (الاختيار). لذا فإن العدد الصحيح  $i$  يمثل عدد الدورات التي يمكن أن تستمر الشجرة في نموها قبل حصادها ، ما لم تموت ، وفي هذه الحالة يتم حصاد الشجرة خلال الحصاد الأول بعد الموت. يتم حصاد الأشجار الميتة عند  $t = nT$  لتوفير الدخل

$$N \frac{1 - e^{-\alpha T}}{1 - e^{-i\alpha T}} \int_0^{iT} \alpha e^{-\alpha x} [PV(x) - c] dx .$$

الأشجار الحية التي يتم حصادها عند  $t = nT$  هي تلك التي في عمر  $iT$  . يعطون الدخل

$$N \frac{1 - e^{-\alpha T}}{1 - e^{-i\alpha T}} e^{-i\alpha T} [PV(iT) - c] .$$

وبالتالي يكون إجمالي الدخل عند  $t = nT$  (بعد التكامل بالأجزاء)

$$K_n = N \frac{1 - e^{-\alpha T}}{1 - e^{-i\alpha T}} \left[ P \int_0^{iT} e^{-\alpha x} V'(x) dx - c \right] - c' .$$

وأخيراً ، يتوقع إجمالي الدخل على جميع المحاصيل المستقبلية

$$\frac{1}{e^{\beta T} - 1} \left\{ N \frac{1 - e^{-\alpha T}}{1 - e^{-i\alpha T}} \left[ P \int_0^{iT} e^{-\alpha x} V'(x) dx - c \right] - c' \right\} ,$$

التي يجب علينا أن نجد الحد الأقصى، نسبة إلى  $T$  و  $X$  . وبالمثل ، يجب إيجاد الحد الأقصى فيما يتعلق بـ  $T$  وعدد صحيح  $i = [X/T] + 1$  . هذا هو تعميم صيغة Faustmann الكلاسيكية للإدارة المدروسة (كما سنرى في القسم التالي). لتقليل عدد معلمات المناقشة ، دعنا نكتب الصيغة

$$NPV_{\infty} \frac{1}{e^{\beta T} - 1} \left\{ \frac{1 - e^{-\alpha T}}{1 - e^{-i\alpha T}} \left[ \int_0^{iT} e^{-\alpha x} \frac{V'(x)}{V_{\infty}} dx - \frac{c}{PV_{\infty}} \right] - \frac{c'}{NPV_{\infty}} \right\} .$$

$V_{\infty}$  هو الحجم الأقصى الذي يمكن للشجرة الوصول إليه خلال حياتها. لاحظ أن

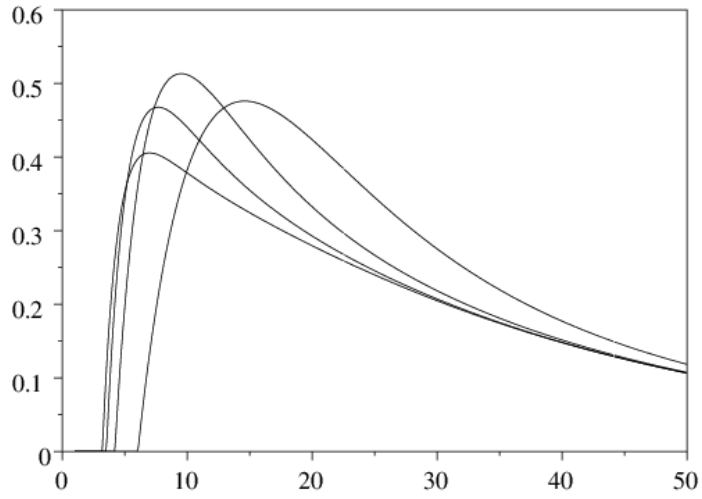
- $c/(PV_{\infty})$  هي النسبة بين تكلفة قطع الشجرة وإعادة زراعتها من ناحية ، أقصى قيمة للشجرة من ناحية أخرى
- $c'/(NPV_{\infty})$  هي النسبة بين التكلفة الثابتة للحصاد والقيمة القصوى للقطعة.

لمناقشة هذه الصيغة ، ضع في اعتبارك تعبيراً رياضياً بسيطاً  $V(x)$  لمنحنى نمو الشجرة ، أو ما يعادله من مشتقاته  $V'(x)$  ، مثلاً

$$V(x) = V_{\infty} \frac{(\gamma/\tau)^{\gamma+1}}{\Gamma(\gamma+1)} x^{\gamma} e^{-\gamma x/\tau} ,$$

حيث  $\Gamma$  هي دالة غاما المعتادة. هذه الوظيفة ، التي من المفترض أن تمثل سرعة النمو ، تزداد من 0 إلى الحد الأقصى الذي يتم الوصول إليه عند  $x = \tau$  ، ثم تقل أثناء التقارب نحو 0 عندما  $x \rightarrow \infty$  . وبالتالي  $V(x) = \int_0^x V'(\xi) d\xi$  هي دالة متزايدة تكون محدبة لـ  $x < \tau$  ومقعرة لـ  $x > \tau$  . تبرز المعلمة الحجم الأقصى للشجرة  $V_{\infty} = \lim_{x \rightarrow \infty} V(x)$  .

يوضح الشكل 1 كيف يمكن أن يختلف توقع الدخل المخصوم اعتماداً على الطول  $T$  لدورة القطع للقيم المختلفة لقطر القطع ، والتي تتوافق مع  $i = 1, 2, \dots, 4$  . منحنى أقصى اليمين هو الذي  $i = 1$  (قطع واضح وحتى مؤامرة). الإستراتيجية المثلى هي  $T^* \simeq 9,5$  و  $i = 2$  ، وهذا يعني قطع الكل  $T^*$  أشجار مينة قديمة وأشجار حية  $2T^*$  أو أكثر. لاحظ أن جميع المنحنيات تصبح سالبة عندما تقترب  $T$  من 0 بسبب التكلفة الثابتة غير الصفورية للحصاد. قيم المعلمات المستخدمة لهذا الشكل هي  $\alpha = 0,05$  في السنة (متوسط العمر المتوقع للأشجار هو  $1/\alpha = 20$  أعوام) ،  $\tau = 10$  سنوات (هذا هو العمر الذي يكون فيه النمو أسرع) و  $\gamma = 2$  لمنحنى النمو ، عامل خصم  $\beta = 0,03$  في السنة  $c/(PV_{\infty}) = 0$  ،  $c'/(NPV_{\infty}) = 0,1$  ، وقيمة قصوى للمؤامرة المقيسة  $NPV_{\infty} = 1$  .



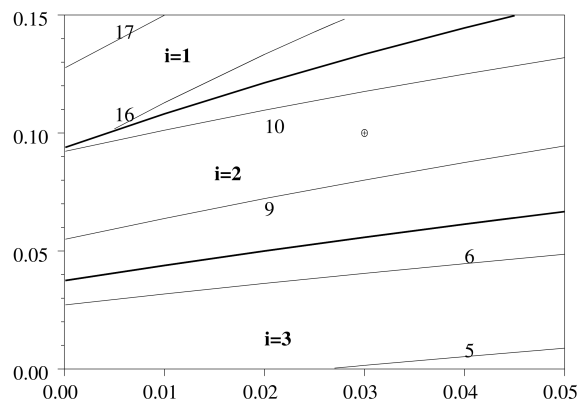
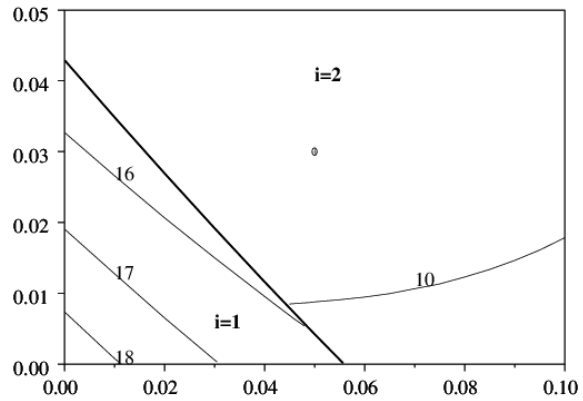
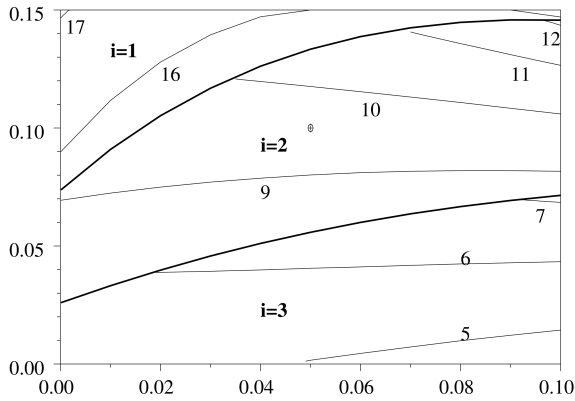
الشكل 1. توقع الدخل المخصوم كدالة لطول دورة القطع  $T$  للقيم المختلفة لقطر القطع (والتي تتوافق مع  $i = 1 \dots 4$ ).

ويوضح الشكل 2 كيف يمكن للدورة القطع الأمثل وقطر تختلف مع وفيات  $\alpha$  ، سعر الخصم  $\beta$  والتكلفة الثابتة لكل محصول. قيم المعلمات الثابتة هي نفسها كما في الشكل 1. كما هو متوقع ، تعتبر الإدارات غير المتساوية العمر ذات دورة القطع القصيرة (التي تمثلها المناطق  $i = 2$  و  $i = 3$ ) أكثر ربحية من الإدارات حتى ( $i = 1$ )

- عندما يكون معدل الوفيات مرتفعاً (الأرقام في أعلى اليسار وأعلى اليمين) ،
- عندما يكون عامل الخصم مرتفعاً (الأرقام الموجودة أعلى اليسار وأسفله) ،
- أو عندما تكون التكلفة الثابتة لكل حصاد منخفضة (أعلى اليمين وأسفل).

لاحظ في الشكل الموجود في أعلى اليسار (التنافس في أعلى اليمين) أنه حتى ضمن الحد  $\alpha \rightarrow 0$  (في حالة نموذج فاستمان) ، تصبح الإدارة غير المتساوية أكثر ربحية من الإدارة المتساوية إذا كان معدل الخصم (مثل التكلفة الثابتة للحصاد) أعلى (الحد الأدنى أدناه) عتبة معينة .

يوضح الشكل 2 أيضاً الخطوط الكنتورية لطول الأمثل لدورة القطع. لاحظ أنه لا توجد علاقة بسيطة بين الطول الأمثل لدورة القطع والوفيات: يمكن أن تكون الأولى دالة متزايدة أو متناقصة للثانية ، اعتماداً على قيم المعلمات ، كما في الشكل أعلاه عند مستقيم.



الشكل 2. طول الدورة وقطرها الأمثل عندما يختلف معدل الوفيات ، ومعدل الخصم ، والتكلفة الثابتة للحصاد  $c'$ . أعلى اليسار: رسم تخطيطي  $(\alpha, \beta)$ . أعلى اليمين: رسم تخطيطي  $(\alpha, c' / NPV_{\infty})$ . أسفل: رسم تخطيطي  $(\beta, c' / NPV_{\infty})$ . تفصل الخطوط الغامقة المناطق حيث  $i = 1$  (حتى الإدارة هي

الأفضل) من المناطق حيث  $i = 2$  و  $i = 3$  (الإدارة غير المستوية هي الأمثل). الخطوط الأخرى هي خطوط المستوى للطول الأمثل لدورة القطع. في كل حالة ، تشير النقطة إلى قيم المعلمات في الشكل 1.

#### 4. الحالات والامتدادات الحدودية

إذا قمنا بتعيين القطر الحرج  $D$  لقطع الأشجار الحية إلى 0 (قطع واضح) ، فإن العمر المقابل هو  $X = 0$ . لذا  $i = I$  والصيغة (1) تختزل إلى

$$\frac{1}{e^{\beta T} - 1} \left\{ N \left[ P \int_0^T e^{-\alpha x} V'(x) dx - c \right] - c' \right\}.$$

إذا بالإضافة إلى التكلفة الثابتة للحصاد  $c'$  والوفيات  $\alpha$  لا تذكر ، ثم يتم اختزال الصيغ إلى [Faustmann 2،3]

$$N \frac{P V(T) - c}{e^{\beta T} - 1}.$$

يتم الحصول على حالة حدية أخرى إذا كان عامل الخصم  $\beta$  وطول دورة القطع  $T$  يتقاربان نحو 0 ، وهو ما يتوافق مع النظر إلى متوسط الدخل مع الحصاد المستمر للأشجار الميتة والأشجار الحية التي يكون عمرها أكبر من  $X$ . تذكر العلاقة بين متوسط الدخل السنوي والدخل المخصص على جميع المحاصيل المستقبلية:

$$\lim_{\nu \rightarrow \infty} \frac{1}{\nu T} \sum_{n=1}^{\nu} K_n = \lim_{\beta \rightarrow 0} \beta \sum_{n=1}^{\infty} e^{-\beta n T} K_n.$$

لنبقى  $c' = 0$ . ثم تعطي الصيغة (1) متوسط الدخل

$$N \alpha \frac{P \int_0^X e^{-\alpha x} V'(x) dx - c}{1 - e^{-\alpha X}},$$

والكثافات  $p(x, t)$  و  $q(x, t)$  تتلاقى على حلول ثابتة

$$\hat{p}(x) = N \frac{\alpha e^{-\alpha x}}{1 - e^{-\alpha X}} 1_{x \in (0, X)}$$

و  $\hat{q}(x) = 0$  الصيغة (2) هي نفسها كما في [6] لمتوسط الدخل في الغابات المعرضة لخطر حريق كارثي. في الواقع ، إذا  $T \rightarrow 0$  لا تأخير بين موت الشجرة وحصادها كما في [6]. لذلك من الطبيعي أن يكون متوسط الدخل هو نفسه. ومع ذلك ، يؤدي تزامن الوفيات في حالة الحريق إلى اختلاف في التعبير عن الدخل المخصص.

ملحقات. افترض أن معدل الوفيات يعتمد على العمر بدلاً من كونه ثابتاً. دعونا نحدد

$$\Delta(x) = \exp\left(-\int_0^x \alpha(\xi) d\xi\right).$$

إذا كان  $Q$  هو سعر الخشب الميت ، وإذا كان  $P$  هو سعر الخشب الأخضر المقطوع مؤخراً ، فإن توقع الدخل المخفض على جميع المحاصيل المستقبلية

$$\frac{1}{e^{\beta T} - 1} \left\{ N \frac{\Delta(iT) [P V(iT) - c] - \int_0^{iT} \Delta'(x) [Q V(x) - c] dx}{\sum_{n=0}^{i-1} \Delta(nT)} - c' \right\},$$

مع  $i = [X/T] + 1$ . تقابل الصيغة (1)  $Q = P(1)$  والثابت  $\alpha$  ، بحيث  $\Delta(x) = \exp(-\alpha x)$  في حدود المكان  $\beta \rightarrow 0$  و  $T \rightarrow 0$  هذه الصيغة (مع  $c' = 0$ ) يؤدي إلى متوسط الدخل

$$N \frac{\Delta(X) [P V(X) - c] - \int_0^X \Delta'(x) [Q V(x) - c] dx}{\int_0^X \Delta(x) dx},$$

صيغة يجدها المرء في [6] في سياق الغابات المعرضة لخطر الحريق ولكن حيث يمكن استعادة جزء من الخشب المحترق.

#### 5. الخلاصة

في إطار نموذج بسيط ، تم العثور على صيغة لطول وقطر دورة القطع الأمثل عندما تتكون الإدارة من قطع الأشجار الميتة والأشجار الحية التي يزيد قطرها عن  $D$  كل  $T$  سنوات . تم تصميم هذا النموذج للغابات المعرضة لمعدلات وفيات طبيعية عالية ، حيث تشكل الأشجار الميتة الجزء الرئيسي من الحصاد وتستخدم كحطب وقود. لقد رأينا أن الإدارة غير المتساوية كانت أكثر ملاءمة في هذه الظروف. عندما يكون معدل الوفيات الطبيعية منخفضاً ، أو يكون معدل الخصم منخفضاً ، أو التكلفة الثابتة لكل حصاد مرتفعاً ، فقد تكون الإدارة أكثر ربحية.

لا تزال إدارة الغابات في النيجر ودول الساحل الأخرى في مهدها. تم تقديم التناوب قبل عقد فقط. البيانات الميدانية لا تزال شحيحة. على الرغم من الأبحاث العديدة المتراكمة على مدى أكثر من 150 عامًا حول مشكلة التناوب الأمثل في البلدان المتقدمة ، إلا أن التكيف مع الظروف المحلية ضروري. في هذه الدراسة ، نركز فقط على جانب واحد ، وهو ارتفاع معدل الوفيات الطبيعية. دعونا نأمل أن يتم دمج هذا النموذج للاقتصاد الجزئي مع نماذج الاقتصاد الكلي [17،18،19] لتوفير أداة نمذجة أكثر اكتمالاً للأطباء العاميين.

1. J. M. d'Herbçs, J. M. K. Ambouta, R. Peltier, Fonctionnement et gestion des écosystèmes forestiers contractés sahéliens, John Libbey Eurotext, Paris, 1997.
2. M. Faustmann, Berechnung des Wertes welchen Waldboden sowie noch nicht haubare Holzbestände für die Waldwi Allgemeine Forst – und Jagd – Zeitung 15 (1849).
3. C. W. Clark, Mathematical bioeconomics : the optimal management of renewable resources, John Wiley & Sons, New York, 1990.
4. D. H. Newman, The optimal forest rotation : a discussion and annotated bibliography, USDA Forest Service, Technical Report SE – 48, Asheville, 1988.
5. J. Forest Econ. 8 (2002) 5 – 27.
6. Can. J. For. Res. 15 (1985) 180 – 190.
7. For. Sci. 27 (1981) 739 – 744.
8. Forest policy and economics 6 (2004) 145 – 152.
9. J. Appl. Ecol. 8 (1966) 355 – 367.
10. For. Sci. 26 (1980) 609 – 625.
11. For. Sci. 47 (2001) 466 – 474.
12. J. Buongiorno, J. K. Gilless, Decision methods for forest resource management, Academic Press, Boston, 2003.
13. A. Ichaou, Dynamique et productivité des structures forestières contractées des plateaux de l'ouest nigérien, Thçse, Université de Toulouse III, 2000.
14. [www.handels.gu.se/econ/EEU/cifor.html](http://www.handels.gu.se/econ/EEU/cifor.html)
15. C. Rorres, W. Fair, Optimal age specific harvesting policy for a continuous – time population model, in : T. A. Burton (Ed.), Modeling and differential equations in biology, Marcel Dekker, New York, 1980, pp.239 – 254.
16. [www2.fundacion-centra.org/pdfs/E200337.pdf](http://www2.fundacion-centra.org/pdfs/E200337.pdf)
17. CSFD, Pour une gestion viable des ressources ligneuses péri – urbaines : analyse et modélisation des impacts des rçgles et des pratiques coutumières sur divers milieux naturels sahéliens et sahélo – soudaniens au Niger et au Mali, [www.csf-desertification.org/projets/projet3.php](http://www.csf-desertification.org/projets/projet3.php)
18. [www.dec.org/pdf\\_docs/PNACQ877.pdf](http://www.dec.org/pdf_docs/PNACQ877.pdf)
19. MARGE, Le modçle GLOBUS: [www.marge.fr](http://www.marge.fr)